

مطالعه شاخص زیستی بی‌مهرگان کفزی و ارزیابی کیفیت آب رودخانه حفاظت شده سردآبرود با استفاده از شاخص IRWQI_sc

سروناز رضامحمدی^۱، کامران رضایی توابع^{۱*}، آرش جوانشیر^۱، علی مریدی^۲، سامان جوادی^۳،
راحله باقری^۱

^۱گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

^۲دانشکده عمران، آب و محیط زیست، پردیس فنی مهندسی شهید عباسپور، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

^۳گروه مهندسی آب، دانشکده فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۲۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۰۶

چکیده

این تحقیق، با هدف بررسی وضعیت آب رودخانه سردآبرود با استفاده از شاخص کیفیت آب‌های سطحی ایران IRWQI_sc و شاخص ارزش زیستی انجام شد. برای انجام این مطالعه، براساس اصول لیمنولوژیک و استقرار منابع آلاینده، پنج ایستگاه نمونه‌برداری در طول رودخانه سردآبرود انتخاب شد و در دو فصل سرد و گرم (بهمن ۱۴۰۰ و تیر ۱۴۰۱) با سه تکرار نمونه‌برداری آب و کفزیان انجام شد. ۱۱ پارامتر کیفی آب شامل: COD، BOD₅، آمونیوم، نیترات، فسفات، کدورت، pH، کلیفرم مدفوعی، هدایت الکتریکی با روش‌های استاندارد اندازه‌گیری و آنالیز شدند. براساس نتایج، شاخص ارزش زیستی در فصل سرد نسبت به فصل گرم مقدار کمتری داشت. این شاخص در ایستگاه بالادست سردآبرود در فصل سرد ۱ و در فصل گرم ۲/۴۳ بود. براساس جدول ساپروبی در فصل سرد تمامی ایستگاه‌ها در شرایط الیگوساپروب و میان‌دست در شرایط بتامزوساپروب قرار داشت. در فصل گرم نیز، ایستگاه پایین‌دست در شرایط الیگوساپروب و بقیه ایستگاه‌ها در شرایط بتامزوساپروب قرار داشتند. مقدار شاخص IRWQI_sc در دو فصل سرد و گرم سیر کاهشی داشت و مقدار آن در فصل سرد بیشتر از فصل گرم بود. مقدار این شاخص در فصل سرد بین ۵۸/۵-۹۰/۷ بود. ایستگاه پایین‌دست در هر دو فصل، در شرایط کیفی نسبتاً خوب، و دو ایستگاه بالادست سردآبرود و کلاردشت در فصل سرد در شرایط کیفی بسیار خوب قرار داشتند. در فصل گرم نیز، مقدار شاخص IRWQI_sc بین ۵۵/۲۶-۹۰/۳۸ در فصل گرم بود. ایستگاه‌های بالادست سردآبرود و کلاردشت به ترتیب در شرایط کیفی بسیار خوب و خوب و ایستگاه‌های میان‌دست و نجارکلا در شرایط نسبتاً خوب قرار داشتند. افزایش آلودگی و کاهش وضعیت کیفی آب از بالادست به پایین دست را می‌توان به ورود فاضلاب‌های شهری، کشاورزی و خانگی نسبت داد. به‌منظور مدیریت شرایط کیفی رودخانه، تدوین برنامه کامل حفاظتی از رودخانه سردآبرود با رویکرد حفظ شرایط موجود پیشنهاد می‌شود.

کلید واژگان: رودخانه سردآبرود، شاخص IRWQI_sc، شاخص ارزش زیستی، جدول ساپروبی

مقدمه

تقسیم‌بندی می‌شوند. در بوم‌سازگان آب‌های جاری، شناخت و مطالعه گروه کفزیان از دو گروه دیگر با ارزش‌تر می‌باشد؛ زیرا از یک سو به دلیل جاری بودن آب، پلانکتون‌ها کمتر می‌توانند در یک مکان مستقر شوند بنابراین زی‌توده آن‌ها در مسیرهای کوتاه و تند آب‌های جاری بسیار پایین و قابل چشم‌پوشی می‌باشد و از سوی دیگر نکتون‌ها ارتباط تنگاتنگی با کفزیان داشته و از آن‌ها تغذیه می‌کنند (Hynes, 1970; Horn and Goldman, 1994). در اکوسیستم‌های رودخانه‌ای با افزایش بار آلودگی، تنها گونه‌هایی که نسبت به کمبود اکسیژن حساسیت اندکی دارند باقی مانده و بقیه به سرعت از بین می‌روند. بر حسب شدت از بین رفتن گونه‌ها و اینکه چه گونه‌هایی از بین رفته‌اند، می‌توان بار آلودگی رودخانه و میزان حساسیت این اکوسیستم را مشخص نمود (Floqi, 2007). شاخص‌های کیفی، روش‌هایی هستند که مقادیر ویژگی‌های کیفی آب را به یک عدد تبدیل می‌نمایند تا برای مدیریت و تحلیل کیفیت آب و همچنین پایش تغییرات کیفی آب در طول زمان و مکان مورد استفاده قرار گیرند (Carbajal-Hernández *et al.*, 2013).

شاخص کیفیت آب (Water Quality Index (WQI)) یکی از روش‌هایی است که برای ارزیابی کیفی آب مورد استفاده قرار می‌گیرد. این شاخص معمولاً از مقدار پارامترهای عمومی آب شامل اکسیژن محلول، اسیدیته، اکسیژن‌خواهی بیولوژیک (BOD)، اکسیژن‌خواهی شیمیایی (COD)، هدایت الکتریکی، کلیفرم مدفوعی، آمونیوم، نیترات، فسفات، سختی و کدورت به دست می‌آید. از این روش آماری می‌توان با بکار بردن نمره وزن‌دهی هر پارامتر آنالیز شده، برای ارزیابی شاخص کیفیت آب بهره برد. رودخانه سردآبرود که یکی از رودخانه‌های حفاظت شده دریای مازندران محسوب می‌شود، به دلیل مصارف شرب، کشاورزی و آبی‌پروزی اهمیت دارد. این رودخانه بر تولید انواع محصولات کشاورزی، دامی و شیلات استان تأثیر زیادی دارد، بنابراین، بررسی کیفی رودخانه سردآبرود حائز اهمیت است (خادم پور و همکاران، ۱۳۹۶). در پژوهشی، خادم‌پور و همکاران (۱۳۹۴) برای بررسی کیفیت آب رودخانه سردآبرود با استفاده از داده‌های سال‌های آبی ۱۳۵۸ تا ۱۳۹۴، شاخص CWQI را محاسبه کردند. براساس نتایج به دست آمده، سه ایستگاه رودخانه برای مصرف آب در

رودخانه‌ها برای جوامع، بسیار حیاتی هستند، زیرا برای نیازهای کشاورزی، انسانی، صنعت و حمل و نقل آب شیرین فراهم می‌کنند (Chaudhary *et al.*, 2017; Osmi *et al.*, 2019). کیفیت آب رودخانه می‌تواند تحت تأثیر بسیاری از فاکتورهای طبیعی و انسانی قرار گیرد (Vega *et al.*, 1998; Dambeniece- Migliniece and Lagzdins, 2017). اثرات انسانی بر آب‌های سطحی می‌تواند تغییراتی در جریان رژیم آبی و کیفیت آب‌های سطحی به دلیل تخلیه‌ی آلاینده‌ها در مکانی مشخص (منابع نقطه‌ای) مانند تصفیه فاضلاب‌های کارخانه‌ها یا از طریق جریان‌ات سطحی/زیرسطحی (منابع غیرنقطه‌ای) ایجاد کند (Carey and Migliaccio, 2009; Dambeniece and Lagzdins, 2017). حوضه رودخانه‌ها، منبع اصلی تأمین آب برای اهداف بسیاری همچون زمین‌های حاصلخیز است که توسعه مناطق مسکونی پرجمعیت را به دلیل وجود شرایط مطلوب فراهم می‌کند (Mouri *et al.*, 2011).

کیفیت آب رودخانه از چندین ترکیب مرتبط با یکدیگر که در معرض متغیرهای محلی و موقتی قرار دارند، تشکیل شده است، همچنین توسط حجمی از جریان آب تحت تأثیر قرار می‌گیرند (Mandal *et al.*, 2010). این اکوسیستم‌ها از نظر تنوع گونه‌های زیستی از ارزش زیستی و اکولوژیک فوق العاده‌ای برخوردار می‌باشند. با آلوده شدن و عدم مدیریت صحیح این اکوسیستم‌ها تنوع گونه‌ای شدیداً کاهش یافته و به تدریج اکوسیستم به سمت نابودی پیش می‌رود. امروزه افزایش جمعیت شهرنشینی باعث آلودگی رودخانه‌ها شده است در حالی که با افزایش جمعیت نیاز به تهیه آب مناسب بیشتر از قبل احساس می‌شود (اسماعیلی ساری، ۱۳۸۱). امروزه وارد شدن انواع فاضلاب‌های صنعتی، شهری و کشاورزی و دفع غیر اصولی آن‌ها سبب مشکلات زیادی از جمله آلودگی آب و خاک در حوضه آبخیز می‌شود، که مرگ و میر آبزیان، آلوده شدن منابع آب زیرزمینی، آلودگی آب رودخانه‌ها و دریاچه‌ها، از بین رفتن برخی از زمین‌های مرغوب کشاورزی و ازدیاد بیماری‌های انسان و دام ناشی از تأثیر آلاینده‌های زیست‌محیطی را به همراه دارد (Hynes, 1998). موجودات آبی در اکوسیستم‌های پویا و ایستای آبی عمدتاً به سه گروه پلانکتون‌ها، نکتون‌ها و کفزیان



شکل ۱- جانمایی منابع کلان آلاینده رودخانه سردآبرود

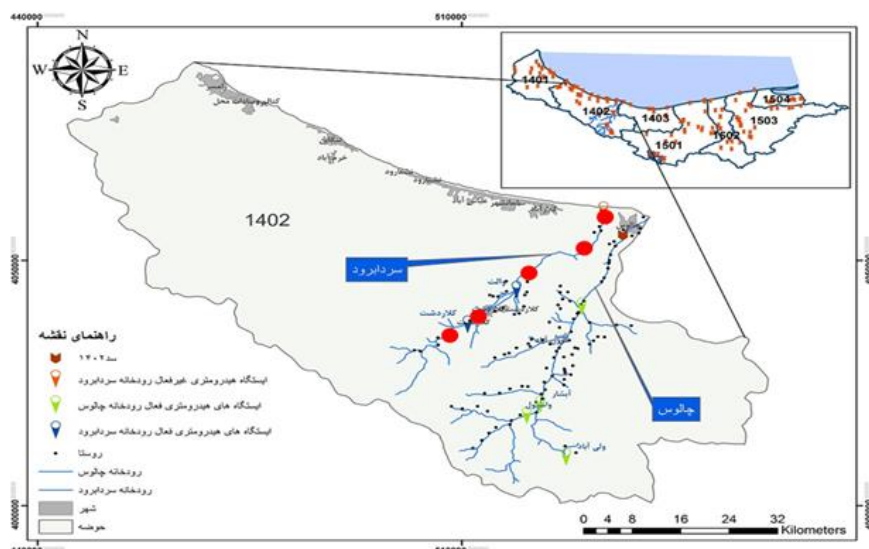
ماهورهای، حوضه آبریز رودخانه‌ها شاخه‌ها و سرشاخه اصلی رودخانه مشخص گردید و سپس منابع آلاینده کلان نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای روی نقشه جانمایی گردید (شکل ۱) و ایستگاه‌های نمونه‌برداری متناسب با سرشاخه‌های اصلی و منابع آلاینده کلان تعیین گردید. براساس اصول لیمنولوژیک، هیدرولوژیک و اکولوژیک (قدرت خودپالایی و دبی رودخانه) و همچنین استقرار منابع آلاینده کلان حاشیه و حریم رودخانه سردآبرود، از تاریخ ۱۳۹۹/۱۱/۱۸ تا ۱۳۹۹/۱۱/۲۳ و ۱۴۰۰/۳/۲۷ تا ۱۴۰۰/۴/۲ از پنج ایستگاه بالادست تا پایین‌دست رودخانه نمونه‌برداری صورت گرفت (شکل ۲ و جدول ۱).

نمونه‌برداری از آب و کفزیان در هر ایستگاه با ۳ تکرار از یک‌سوم طرفین و وسط رودخانه انجام گردید. در هر تکرار ۲۵۰ سی‌سی نمونه‌برداری در قوطی‌های نمونه‌برداری جمع‌آوری و برای آنالیزهای فیزیکوشیمیایی و میکروبی کیفیت آب به آزمایشگاه بوم‌شناسی آبریان و آزمایشگاه عمومی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران منتقل گردید. برخی از پارامترها مانند pH، دما، هدایت الکتریکی، اکسیژن محلول و کدورت در ایستگاه‌های مورد نظر توسط دستگاه‌های پرتابل اندازه‌گیری و آنالیز شد (جدول ۲). برای اندازه‌گیری پارامترهای کیفیت آب، طبق روش‌های استاندارد آزمایشگاهی، فاکتور pH با دستگاه HACH، اشباعیت اکسیژن محلول (DO)، اکسیژن‌خواهی بیولوژیک (BOD) به‌وسیله اکسیژن متر و BOD متر دیجیتال شرکت هانا آمریکا، اکسیژن‌خواهی شیمیایی (COD) با روش تقطیر برگشتی باز، میزان فسفات (PO₄) تحت شرایط اسیدی توسط واکنش با آمونیوم هپتامولیدات، نترات (NO₃) توسط

آبزی‌پروری، تفریح و سرگرمی در شرایط بد قرار داشتند. مطالعه‌ای دیگر، عابدی و همکاران (۱۳۹۸) شاخص ارزش زیستی رودخانه هراز را بررسی کردند، زیرا سنجش پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب به‌طور کامل بیانگر وضعیت کیفی آب نمی‌تواند باشد، بنابراین به‌منظور ارزیابی پارامترهای زیستی، نمونه‌برداری از بی‌مهرگان کفزی از پاییز ۱۳۹۷ تا تابستان ۱۳۹۸ به‌صورت فصلی انجام گرفت. بر اساس نتایج حاصل از HFBI، آب رودخانه در فصل پاییز و تابستان در طبقه کیفی بسیارخوب و در فصل‌های زمستان و بهار در طبقه کیفی خوب قرار داشت. با توجه به اهمیت رودخانه حفاظت شده سردآبرود و مطالعه و بررسی همه‌جانبه این بوم‌سازگان آبی، این مطالعه نیز با هدف بررسی وضعیت کیفی این رودخانه بر اساس شاخص کیفیت آب‌های سطحی ایران IRWQIsC طراحی و اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

مواد و روش‌ها: رودخانه سردآبرود در عرض ۳۶°۳۱′۴۲" شمالی و طول ۵۱°۱۱′۲۰" شرقی در غرب استان مازندران واقع شده است (کاظم‌نژاد و همکاران، ۱۳۸۹). رودخانه سردآبرود منطقه کلاهدشت را پشت سر می‌گذارد و در عمق گسلی چند روستا در مسیر خود عبور می‌کند. این رودخانه که به‌عنوان یکی از رودخانه‌های حفاظت شده دامنه‌های شمالی البرز محسوب می‌شود به‌دلیل مصارف شرب، کشاورزی و زیست‌محیطی حایز اهمیت زیادی است و در ادامه در پایین‌دست به سد زوات می‌رسد و سپس به دریای خزر منتهی می‌شود. به‌منظور انتخاب ایستگاه‌های نمونه‌برداری مطالعات لیمنولوژیک و اکولوژیک رودخانه حفاظت شده سردآبرود، ابتدا به کمک نقشه‌ها و تصاویر



شکل ۲- جانمایی ایستگاه‌های رودخانه سردآبرود

جدول ۱- مختصات ایستگاه‌های نمونه‌برداری

موقعیت جغرافیایی	نام ایستگاه	شماره ایستگاه
۳۶°۰۹'۲۵"N ۵۱°۰۵'۰۲"E	بالادست سردآبرود	۱
۳۶°۲۸'۱۹"N ۵۱°۰۵'۴۵"E	بالادست کلاردشت (مرکز پرورش ماهی شهید باهنر)	۲
۳۶°۳۲'۲۷"N ۵۱°۳۸'۱۳"E	دست سردآبرود (شهر کلاردشت) میان	۳
۳۹°۳۶'۵۶/۵"N ۵۱°۲۲'۵۲/۸"E	نچار کلا (استقرار روستا و شهر در حریم رودخانه و کشاورزی زراعی)	۴
۳۶°۴۱'۱۲"N ۵۱°۲۳'۵۸"E	دست سردآبرود پایین	۵

جدول ۲- پارامترهای مورد استفاده در شاخص IRWQI_{sc}

واحد	وزن	پارامتر
MPN/100ml	۰/۱۴	کلیفرم مدفوعی
میلی گرم بر لیتر	۰/۱۱۷	BOD ₅
میلی گرم بر لیتر	۰/۱۰۸	نیترات
درصد اشباع	۰/۰۹۷	اکسیژن محلول
میکروزیمنس/cm	۰/۰۹۶	هدایت الکتریکی
میلی گرم بر لیتر	۰/۰۹۳	COD
مجموع آمونیوم	۰/۰۹	آمونیم
میلی گرم بر لیتر	۰/۰۸۷	فسفات
NTU	۰/۰۶۲	کدورت
mg/lCaCO ₃	۰/۰۵۹	سختی کل
واحد استاندارد	۰/۰۵۱	pH

EC در آزمایشگاه عمومی میکروبیولوژی انجام گردید و همچنین فاکتور سختی کل (TH) نیز با استفاده از تیتراسیون با EDTA در آزمایشگاه عمومی میکروبیولوژی اندازه‌گیری و ارزیابی شد.

احیاء با کادمیوم و سپس واکنش با سولفانلیک اسید (Eaton, 2005) انجام شد. اندازه‌گیری رسانایی الکتریکی (EC) توسط دستگاه مولتی متر دیجیتال و ارزیابی شمارش کلی فرم مدفوعی به صورت رقت لوله‌ای و با محیط کشت

جدول ۳- طبقه کیفی منابع آب‌های سطحی بر اساس عدد شاخص IRWQIsc

مقدار شاخص	معادل توصیفی
کمتر از ۱۵	خیلی بد
۱۵ - ۲۹/۹	بد
۳۰ - ۴۴/۹	نسبتاً بد
۴۵ - ۵۵	متوسط
۵۵/۱ - ۷۰	نسبتاً خوب
۷۰/۱ - ۸۵	خوب
بیشتر از ۸۵	بسیار خوب

جدول ۴- ضرایب و شاخص‌های زیستی بر اساس میزان آلودگی آبی (Hilsenhoff, 1979)

شاخص زیستی	کیفیت آب	میزان آلودگی
۰-۰/۷۵	عالی	بدون آلودگی
۰/۷۵-۱/۲۵	خیلی خوب	آلودگی بسیار کم
۱/۲۶-۱/۷۵	خوب	آلودگی کم
۱/۷۶-۲/۵	نسبتاً ضعیف	آلودگی زیاد
۲/۵۱-۳/۲۵	ضعیف	آلودگی خیلی زیاد
۳/۲۶-۴	خیلی ضعیف	کاملاً آلوده

های استاندارد تعیین و ارزیابی شدند. در این گونه مطالعات، تعیین ارزش زیستی و درجه کیفی آب رودخانه، به وسیله ارزیابی ارزش زیستی با استفاده از درشت کفزیان با مدل‌های مختلف ضروری است. کاربردی‌ترین مدل ارزیابی ارزش زیستی رودخانه با استفاده از درشت کفزیان، مدل امتیازدهی هیلسنهوف (Hilsenhoff) و استفاده از مدل بور می‌باشد. در این روش پس از شناسایی و شمارش نمونه‌های کفزیان شاخص زیستی به دست آمده از ایستگاه مورد مطالعه، موجودات شاخص در هر ایستگاه، وضعیت زیستی و آلودگی بخش‌های مختلف رودخانه را براساس میزان آلودگی آب و ارزش زیستی کفزیان را نشان می‌دهد (جدول ۴). عدد ارزش زیستی رودخانه‌ها با استفاده از درشت کفزیان شاخص براساس فرمول زیر محاسبه می‌شود (Baur, 1980).

$$Z = \frac{\sum 0 + 2 \sum 1 + 3 \sum \alpha + 4 \sum p}{\sum h}$$

Z = ارزش زیستی هر ایستگاه از رودخانه
 $\sum 0$ = مجموع تعداد موجودات منطقه الیگو ساپروب
 $\sum \alpha$ = مجموع تعداد موجودات منطقه بتا-مزو ساپروب
 $\sum p$ = مجموع تعداد موجودات منطقه پلی ساپروب
 $\sum h$ = مجموع کل فراوانی موجودات

برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها، از آزمون Shapiro-Wilk برای نرمال بودن داده‌ها استفاده شد. بررسی وجود

جهت محاسبه شاخص کیفی IRWQIsc، ۱۱ پارامتر فیزیکی، شیمیایی و زیستی با توجه به منحنی‌ها و وزن هر پارامتر (جدول ۲)، با استفاده از رابطه‌های ۱ و ۲ به دست آمد:

$$\text{رابطه ۱: } IRWQI_{sc} = \left[\prod_{i=1}^n I_i^{wi} \right]^{\frac{1}{\gamma}}$$

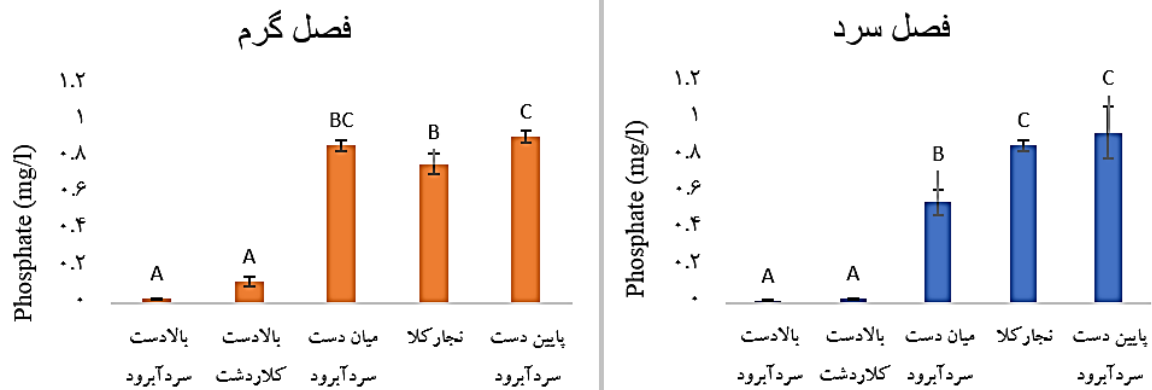
$$\text{رابطه ۲: } \gamma = \sum_{i=1}^n wi$$

که در آن W_i : وزن پارامتر i ام، n : تعداد پارامترها و I_i : مقدار شاخص برای پارامتر i ام از منحنی از منحنی رتبه‌بندی می‌باشد. معادل توصیفی شاخص کیفی نامبرده و محدوده کیفیت آب در جدول ۳ ارائه شده است.

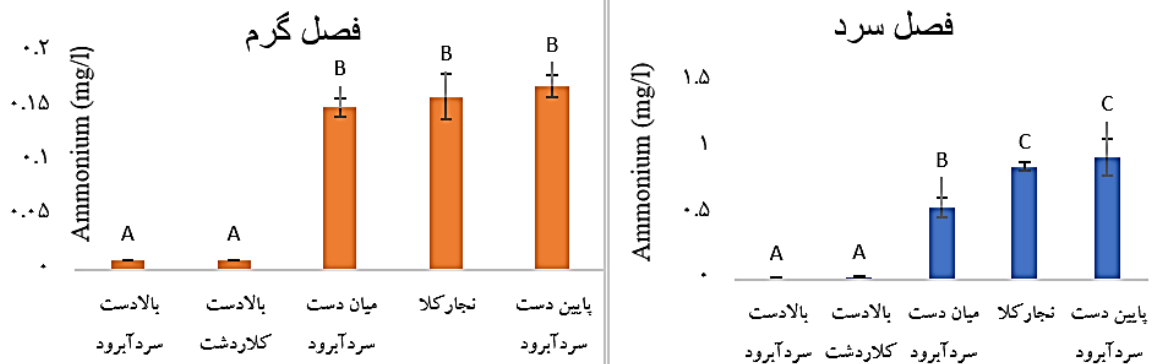
برای بررسی و مطالعه زیست‌شناختی (بیولوژیک) بی‌مهرگان کفزی، در بهمن ماه ۱۳۹۹ و خرداد ۱۴۰۰ از درشت کفزیان بستر، در هر ایستگاه براساس جنس بستر، نمونه‌برداری انجام گردید. به منظور مطالعه و ارزیابی درشت کفزیان، نمونه‌برداری درشت کفزیان از بسترهای سنگلاخی با جداسازی و جمع‌آوری به وسیله برس یا پنس، در بسترهای شنی و ماسه‌ای به وسیله ابزار سوربر و در مناطق رسی-سیلتی به وسیله ابزار کرر (Corer) انجام شد. درشت کفزیان بعد از جمع‌آوری و جداسازی با تورهای با چشمه‌های کمتر از ۰/۱ میلی‌متر در فرمالین ۴ درصد یا اتیل الکل ۷۰ درصد منتقل و تثبیت شدند. بعد از انجام مراحل فوق با استفاده از ویژگی‌های ریخت‌سنجی، مورفولوژیکی و شمارشی گونه‌ها شناسایی و تنوع زیستی آن‌ها در زیر لوپ دو چشمی با کلید



شکل ۳- مقدار نیترات در ایستگاه‌های نمونه‌برداری



شکل ۴- مقدار فسفات در ایستگاه‌های نمونه‌برداری



شکل ۵- مقدار آمونیوم در ایستگاه‌های نمونه‌برداری

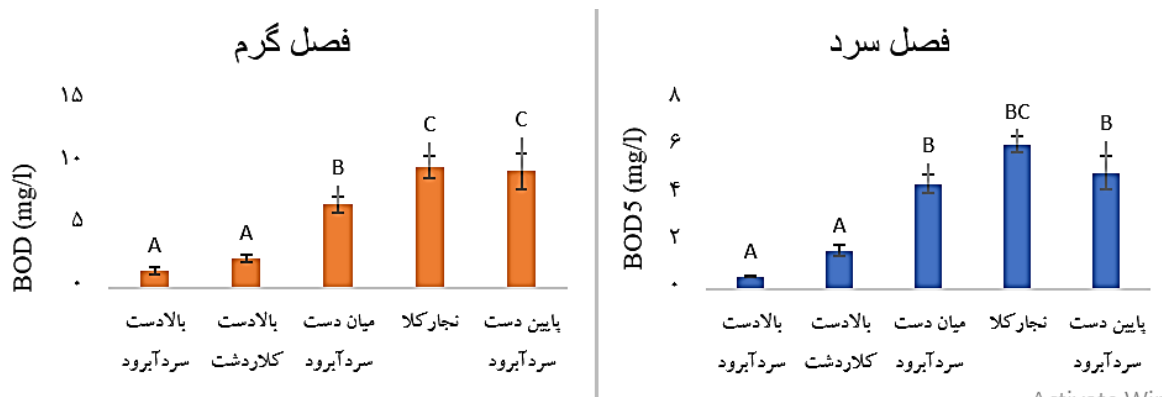
بیشترین مقدار آمونیوم در فصل سرد در ایستگاه میان-دست و در فصل گرم در پایین‌دست سردآبرود مشاهده گردید. به‌طور کلی روند تغییرات آن به‌صورت افزایشی بود و بین دو ایستگاه ابتدایی و سه ایستگاه پایین‌دست اختلاف معنی‌داری وجود داشت (شکل ۵) ($P < 0.05$). ایستگاه نچارکلا بالاترین مقدار اکسیژن‌خواهی زیستی را در هر دو فصل سرد و گرم به‌خود اختصاص داد و کمترین مقدار نیز در بالادست سردآبرود مشاهده شد (شکل ۶).

میزان DO با اکسیژن‌خواهی زیستی رابطه‌ای معکوس داشت و به‌همین علت بیشترین مقدار آن در ایستگاه بالادست رودخانه در هر دو فصل سرد و گرم بود (شکل ۷). در مطالعه حاضر، شاخص IRWQisc در هر دو فصل سرد

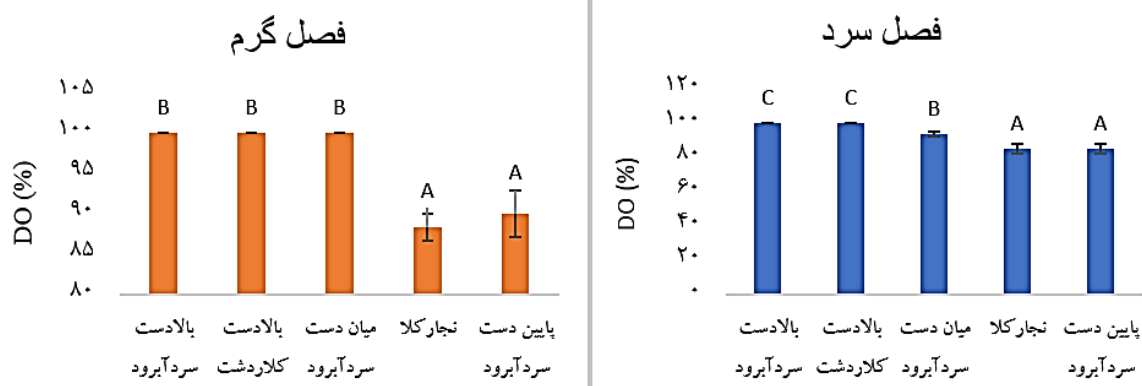
اختلاف معنی‌دار برای مقایسه درون‌گروهی با استفاده از آنالیز تجزیه واریانس یک‌طرفه (One-way ANOVA) و آزمون دانکن در سطح اعتماد ۰/۹۵ درصد صورت گرفت. تمام آنالیزهای آماری در محیط نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ انجام شد.

نتایج

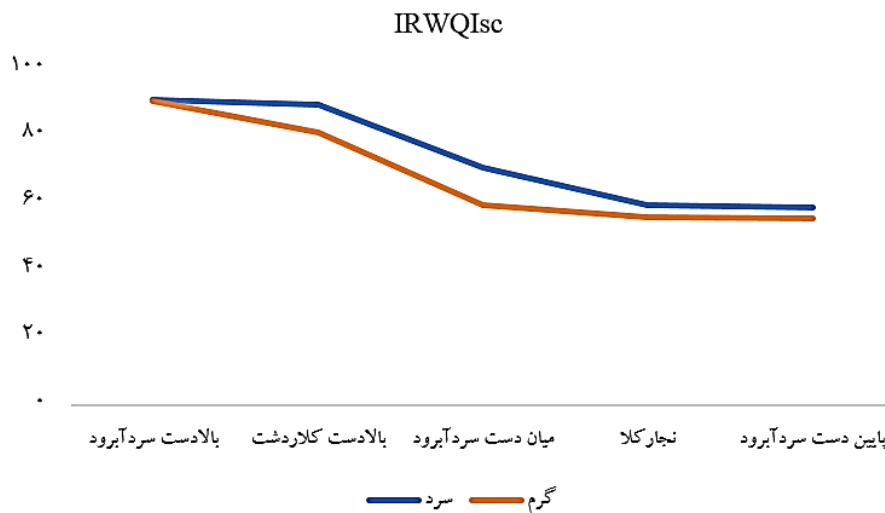
نتایج مقادیر نیترات در بین ایستگاه‌های مورد بررسی نشان داد که در دو فصل سرد و گرم در ایستگاه بالادست سردآبرود کمترین مقدار ثبت شد (شکل ۳). همچنین پایین‌دست سردآبرود نیز در دو فصل نمونه‌برداری، بیشترین مقدار فسفات را دارا بود (شکل ۴).



شکل ۶- مقدار اکسیژن خواهی زیستی در ایستگاه‌های نمونه‌برداری



شکل ۷- مقدار DO در ایستگاه‌های نموداری برداری



شکل ۸- مقدار شاخص IRWQIsc در ایستگاه‌های نمونه‌برداری

تا ۹۰/۳۸ متغیر بود. ایستگاه‌های بالادست سردآبرود و بالادست کلاردشت به ترتیب در وضعیت کیفی بسیار خوب و خوب قرار داشتند و ایستگاه‌های میان‌دست، نجارکلا و پایین‌دست در وضعیت کیفی نسبتاً خوب بودند (شکل ۸). مقدار شاخص ارزش زیستی در فصل سرد از بالادست به پایین‌دست ابتدا سیری صعودی و سپس نزولی داشت. تمامی ایستگاه‌ها به جز میان‌دست سردآبرود در طبقه ایگوساپروبی و میان‌دست نیز در کلاس بتامزوساپروبی قرار داشت.

و گرم روندی مشابه و روند کاهشی-منطقی داشتند. در فصل سرد، میزان شاخص دو ایستگاه بالادست سردآبرود و کلاردشت ۹۰/۷ و ۸۹/۱۹ بود که باعث شد این دو ایستگاه در شرایط کیفی بسیار خوب قرار بگیرند. میزان این شاخص برای سه ایستگاه میان‌دست، نجارکلا و پایین‌دست به ترتیب ۷۰/۴۷، ۵۹/۴۲ و ۵۸/۵ بود و براساس جدول توصیفی-کیفی در شرایط خوب و نسبتاً خوب قرار بگیرند. در فصل گرم، مقدار شاخص IRWQIsc، بین ۵۵/۲۶

شاخص ارزش زیستی



شکل ۹- مقدار شاخص ارزش زیستی در ایستگاه‌های نمونه‌برداری

جدول ۵- مقدار شاخص‌های اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های نمونه‌برداری در فصل سرد

کدورت NTU	سختی کل mg/l	pH	COD mg/l	EC μs/cm	کلیرم مدفوعی n/100 ml	ایستگاه
۵/۳±۰/۵۷ ^a	۷۳/۳۳±۲۳/۰۹ ^a	۹/۳±۰/۱۵ ^a	۱/۴±۰/۳۴ ^a	۱۹۶/۶±۵/۷۷ ^a	۱۲/۳۳±۴/۱۶ ^a	بالادست سردآبرود
۶±۱ ^a	۸۶/۶۶±۲۳/۰۹ ^{ab}	۸/۵±۰ ^b	۲/۴±۰/۴۷ ^a	۲۱۶/۶±۵/۷۷ ^b	۲۸/۳۳±۵/۵ ^a	بالادست کلاردشت
۳۱±۹/۸۴ ^b	۱۲۶/۶۶±۳۰/۵۵ ^b	۸/۶±۰ ^b	۸±۱/۵ ^b	۳۷۶/۶±۵/۷۷ ^c	۸۲/۳۳±۱۲/۰۹ ^a	میان دست سردآبرود
۶۶±۹/۸۴ ^c	۱۲۰±۲۰ ^b	۹±۰/۰۵ ^c	۹±۱/۳ ^b	۳۹۰±۰ ^d	۳۷۰/۶۶±۹۶/۴۶ ^b	نچارکلا
۹۳±۱۷/۰۵ ^d	۱۲۶/۶۶±۱۱/۵۴ ^b	۸/۹±۰/۰۵ ^c	۹/۹±۱/۴ ^b	۴۲۰±۰ ^e	۳۷۴±۱۹/۴۶ ^b	پایین دست سردآبرود

*حروف متفاوت و غیرهمنام در هر ردیف بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد در هر ایستگاه است.

جدول ۶- مقدار شاخص‌های اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های نمونه‌برداری در فصل گرم

کدورت NTU	سختی کل mg/l	pH	COD mg/l	EC μs/cm	کلیرم مدفوعی n/100 ml	ایستگاه
۲/۶۶±۰/۵۷ ^a	۸۱/۳۳±۱۵/۵۲ ^a	۸/۵±۰	۲/۳۳±۰/۵۷ ^a	۱۵۲/۳۳±۵/۷۷ ^a	۸±۲ ^a	بالادست سردآبرود
۲/۶۶±۱/۱۵ ^a	۸۲/۶۶±۲/۰۸ ^a	۸/۶±۰	۸/۳۳±۰/۵۷ ^a	۱۳۶/۶۶±۱۱/۵۴ ^b	۷±۱/۷۳ ^a	بالادست کلاردشت
۱۰/۳۳±۱/۵۲ ^b	۸۶/۶۶±۲/۵۱ ^a	۸/۹±۰	۱۴/۳۳±۲/۵۱ ^b	۱۸۰±۰ ^c	۸۵۸/۳۳±۱۵۴/۹۰ ^b	میان دست سردآبرود
۲۶±۴/۵۸ ^c	۸۶±۸/۷۱ ^a	۸/۶±۰	۱۷±۴/۵۸ ^b	۲۲۰±۰ ^d	۱۰۴۶±۱۴۸/۶۸ ^b	نچارکلا
۳۲/۳۳±۷/۳۷ ^c	۸۷/۳۳±۷/۰۹ ^a	۸/۵±۰	۱۷±۳/۴۶ ^b	۲۶۰±۰ ^e	۹۶۰±۳۰۸/۰۵ ^b	پایین دست سردآبرود

*حروف متفاوت و غیرهمنام در هر ردیف بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد در هر ایستگاه است.

بحث

امروزه به‌علت محدود بودن منابع آب شیرین، حفظ و نگهداری این منابع امری اجتناب‌ناپذیر است. از طرف دیگر، افزایش جمعیت، نیاز به آب و محصولات کشاورزی را تشدید می‌نماید (Bahrami and Dastourani, 2019). این مطالعه نیز با هدف بررسی وضعیت ساپروبی و شاخص زیستی رودخانه حفاظت شده سردآبرود در دو فصل سرد و گرم انجام گرفت.

در پژوهش حاضر، دو فاکتور نیترات و فسفات در هر دو فصل سرد و گرم، طی روند افزایشی، از بالادست به پایین دست رودخانه افزایش یافتند. ورود فاضلاب‌های کشاورزی، شهری و خانگی از حاشیه رودخانه و شهر کلاردشت را می‌توان به آن نسبت داد. فاکتور آمونیم نیز در هر دو فصل

براساس جدول وضعیت آلودگی، بالادست سردآبرود دارای آلودگی خیلی کم و وضعیت کیفی آب خیلی خوب و میان دست سردآبرود دارای آلودگی زیاد و شرایط کیفی نسبتاً ضعیف بود اما با قدرت خودپالایی مناسب رودخانه، شرایط در ایستگاه پایین‌تر بهتر شد. مقدار این شاخص در فصل گرم بیشتر از فصل سرد بود و روند آن از بالادست به پایین‌دست نزولی بود. براساس جدول طبقه ساپروبی، ایستگاه پایین دست در شرایط الیگوساپروب و دیگر ایستگاه‌ها در شرایط بتامزوساپروب قرار داشتند. همچنین براساس جدول وضعیت آلودگی و شرایط کیفی آب سه ایستگاه بالادست دارای آلودگی زیاد و کیفیت آب نسبتاً ضعیف و دو ایستگاه نچارکلا و پایین‌دست، دارای آلودگی کم و کیفیت آب خوب بودند (شکل ۹).

فصل در ایستگاه بالادست کمترین مقدار را داشت. روند تغییرات این پارامتر با نتایج پاشزاده لاله و همکاران (۱۴۰۰) در تضاد بود. آن‌ها علت کم بودن هدایت الکتریکی در ایستگاه پایین‌دست را به پیوستن شاخه‌های فرعی با مقادیر کمتر هدایت الکتریکی نسبت داده بودند. حقیقت و همکاران (۱۴۰۰) بالا بودن میانگین کلیفرم مدفوعی را ناشی از ورود مدفوع انسانی از فاضلاب‌های تصفیه نشده، استخرهای پرورش ماهی و سایت‌های سنگ‌شکن و شالیزارها عنوان کردند که نتایج آن با علل افزایش میزان کلیفرم مدفوعی در رودخانه سردآبرود تا حدود زیادی هم‌راستا بود.

نتیجه‌گیری

در رودخانه سردآبرود، در فصل سرد، براساس جدول توصیفی-کیفی دستورالعمل استاندارد IRWQIsc، دو ایستگاه بالادست سردآبرود و بالادست کلاردشت در شرایط کیفی-توصیفی بسیار خوب و سه ایستگاه دیگر شامل ایستگاه میان‌دست، نجارکلا و ایستگاه پایین‌دست سردآبرود در شرایط کیفی-توصیفی خوب قرار گرفتند. براساس جدول طبقه‌سارپروبی، تمامی ایستگاه‌های رودخانه سردآبرود به‌جز ایستگاه میان‌دست در شرایط لیگوسارپروبی قرار دارند و ایستگاه میان‌دست سردآبرود در کلاس بتامزوسارپروبی قرار دارد. همچنین بر اساس جدول وضعیت آلودگی و شرایط کیفی آب، ایستگاه بالادست سردآبرود دارای آلودگی خیلی کم و وضعیت کیفیت آب خیلی خوب گزارش شد. سه ایستگاه بالادست کلاردشت، نجارکلا و پایین‌دست سردآبرود دارای آلودگی کم و شرایط کیفیت آب خوب و ایستگاه میان‌دست سردآبرود دارای آلودگی زیاد و شرایط کیفی آب نسبتاً ضعیف داشت که با شرایط قدرت خودپالایی مناسب رودخانه سردآبرود این وضعیت در ایستگاه‌های پایین‌تر بهتر می‌شود. در فصل گرم، دو ایستگاه بالادست سردآبرود و بالادست کلاردشت در شرایط کیفی بسیارخوب و سه ایستگاه میان‌دست، نجارکلا و ایستگاه پایین‌دست سردآبرود در شرایط کیفی نسبتاً خوب قرار گرفتند. براساس جدول طبقه‌سارپروبی، تمامی ایستگاه‌های رودخانه به‌جز پایین‌دست سردآبرود در شرایط بتامزوسارپروبی و ایستگاه پایین‌دست در شرایط لیگوسارپروبی قرار دارد. همچنین وضعیت آلودگی و شرایط کیفی آب، سه ایستگاه بالادست سردآبرود، بالادست کلاردشت و میان‌دست دارای آلودگی زیاد و کیفیت آب نسبتاً

در ایستگاه‌های پایین‌دست در بالاترین مقدار خود بود که با روند نتایج پژوهش کاظم نژاد و همکاران (۱۳۸۹) مشابه بود. دو فاکتور BOD و DO نیز روند تغییرات منطقی داشتند به گونه‌ای که در بالادست رودخانه مقدار DO در حداکثر مقدار خود و BOD در همان ایستگاه در حداقل مقدار قرار داشت. به‌طور کلی مقدار کلیفرم مدفوعی در فصل گرم بیشتر از فصل سرد بود و مقدار آن طی روندی افزایشی، از بالادست به پایین‌دست در هر دو فصل متغیر بود. می‌توان بین بالا بودن مقدار BOD و افزایش مقدار باکتری‌های کلیفرم در ایستگاه‌های پایین‌دست رابطه‌ای مستقیم ایجاد کرد. بالا بودن مقدار BOD به‌معنای بالا بودن مقدار ماده آلی در آب و به‌دنبال آن ازدیاد باکتری‌های کلیفرم را در بر داشت. مقادیر COD در هر دو فصل نیز در ایستگاه‌های بالادست به‌دلیل عدم ورود مواد قابل اکسیداسیون در حداقل مقدار نسبت به ایستگاه‌های پایین‌دست قرار داشت. شاخص IRWQIsc در هر دو فصل روندی کاهشی داشت و ایستگاه پایین‌دست در فصل سرد در شرایط کیفی خوب و در فصل گرم در شرایط نسبتاً خوب قرار گرفت. مقدار این شاخص در فصل سرد در ایستگاه پایین‌دست بیشتر از مقدار آن در فصل گرم بود. همچنین در مطالعه‌ای که صمدی کوچکسرای و رضائی‌توابع (۱۴۰۲) بر رودخانه کرج انجام دادند نیز، مقدار این شاخص در ایستگاه پایین‌دست و در فصل گرم کمتر از مقدار آن در همان ایستگاه در فصل سرد بود، اما به‌طور کلی کمترین مقدار در ایستگاه پایین‌دست مشاهده شد. همچنین براساس جدول سارپروبی در هر دو فصل سرد و گرم، ایستگاه پایین‌دست در شرایط لیگوسارپروبی قرار داشت که قدرت خودپالایی رودخانه را در بهبود کیفیت آن می‌توان مؤثر دانست و در فصل سرد نیز با وضعیت کیفی خیلی خوب و در فصل گرم با کیفیت خوب مشاهده شد. میزان کلیفرم مدفوعی در ایستگاه‌های پایین‌دست بیشتر از بالادست بود. مرادی مجد و همکاران (۱۴۰۰) به‌طور کلی، بیشترین مقدار کدورت را به ایستگاه‌های پایین‌دست در فصل پاییز نسبت دادند. به‌دلیل کم بودن شیب رودخانه در ایستگاه ۴ رودخانه بهمشیر، سرعت آب کم و بالا رفتن ذرات معلق و ذرات محلول رخ می‌دهد و کدورت بالا می‌رود. روند تغییرات کدورت در رودخانه سردآبرود هم مشابه بود و ایستگاه پایین‌دست رودخانه در فصل سرد کدورت بالاتری داشت. میزان هدایت الکتریکی در هر دو

آموزش و ترویج سازمان جهاد کشاورزی استان و همچنین استفاده از ظرفیت سازمان‌های محیط‌زیستی مردم نهاد بومی از استفاده غیر کارشناسی و غیر ضروری کودهای ازته و فسفره بیش از نیاز مزارع حاشیه رودخانه‌ها جلوگیری شود.

ضعیف و دو ایستگاه نجارکلا و پایین‌دست نیز دارای آلودگی کم و کیفیت آب خوب بودند. از آنجا که بخش عمده آلودگی‌های غیرنقطه‌ای، فاضلاب‌های آلی کشاورزی است، پیشنهاد می‌گردد از طریق آموزش سازمان‌های ذیربط نظیر مدیریت

منابع

- اسماعیلی ساری ع. ۱۳۸۱. آلاینده‌ها، بهداشت و استاندارد در محیط زیست. نشر نقش مهر. تهران. صفحات ۷۹-۷۷.
- بهرامی، فرشته، و دستورانی، مهدی. (۱۳۹۸). ارزیابی کیفی آب زیرزمینی دشت سرایان با استفاده از شاخص کیفی WQI. مجله آبیاری و زهکشی ایران. ۱۱۳(۴): ۱۰۷۴-۱۰۶۴.
- پاشا زاده لاله ز.، جعفری، ه.، واعظی هیر ع. ۱۴۰۰. ارزیابی کیفیت آب رودخانه آجی‌چای (دشت تبریز) براساس شاخص‌های کیفی مصارف ویژه. نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران. ۱۱(۴): ۳۶۷-۳۴۴.
- حقیقت ر.، نوذری ه. ۱۴۰۰. مطالعه کیفیت آب رودخانه بشار در منطقه حفاظت شده دنا. اکوبیولوژی تالاب. ۱۳(۴۸): ۸۴-۶۹.
- رحیمی ح. ۱۳۸۲. بحران آب: مشکل ناشناخته جهانی. پیک نور. سال اول، شماره دوم. ۳۳-۲۳.
- صمدی کوچکسرای ب.، رضایی توابع ک. ۱۴۰۲. مطالعات شاخص‌های زیستی، کیفی و خودپالایی رودخانه حفاظت‌شده کرج. سیلات. ۷۶(۱): ۱۳۶-۱۲۱.
- عابدی ا.، رحمانی ح.، حق‌پرست س.، مقدس د. ۱۳۹۹. ارزیابی زیستی کیفیت آب رودخانه هراز. هفتمین کنگره ملی زیست‌شناسی و علوم طبیعی ایران. تهران.
- کاظم نژاد ف.، صفایی ح.، پاشا، م.، کاظم نژاد، ع. ۱۳۸۹. بررسی منابع آلاینده رودخانه سردآبرود. فصلنامه علوم و فنون منابع طبیعی. ۱۱۰-۱۰۱: (۲)۵.
- مرادی مجد ن.، چترنور م.، فلاح قاله‌ری غ. ح. ۱۴۰۰. ارزیابی کیفی آب رودخانه بهمنشیر با استفاده از شاخص‌های کیفیت BCWQI و Liou. اکوبیولوژی تالاب. ۱۱۳(۵۰): ۶۸-۵۵.
- Baur W. 2000. Gewässer guete bestimmen and beurtilen, Paul Parey Verlag Stuttgart, 453p.
- Carey, R.O., Migliaccio, K.W. 2009. Contribution of wastewater treatment plant effluents to nutrient dynamics in aquatic systems: a review. *Environmental Management* 44, 205-217.
- Chaudhary M., Mishra S., Kumar A. 2017. Estimation of water pollution and probability of health risk due to imbalanced nutrients in River Ganga, India. *International Journal of River Basin Management* 15 (1), 53-60.
- Dambeniece-Migliniece L., Lagzdīņš A. 2017. Impacts of municipal wastewater treatment plants on water quality in the Berze river basin. *Research for Rural Development* 1.
- Eaton A.D., Franson M.A.H. 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, Washington, Denver, Alexandria.
- Hernández J.J.C., Sánchez-Fernández L.P., Villa-Vargas L.A., Carrasco-Ochoa J.A., Martínez-Trinidad J.F. 2013. Water quality assessment in shrimp culture using an analytical hierarchical process. *Ecological Indicators* 29, 148-158.
- Mandal P., Upadhyay R., Hasan A. 2010. Seasonal and spatial variation of Yamuna River water quality in Delhi, India. *Environmental Monitoring and Assessment* 170(1), 661-670
- Mouri G., Takizawa S., Oki T. 2011. Spatial and temporal variation in nutrient parameters in stream water in a rural-urban catchment, Shikoku, Japan: effects of land cover and human impact. *Journal of Environmental Management* 92(7), 1837-1848.
- Osmi S.F.C., Malek M.A., Yusoff M., Azman N.H., Faizal W.M. 2016. Development of river water quality management using fuzzy techniques: a review. *International Journal of River Basin Managemen* 14(2), 243-254.
- Singh K.P., Malik A., Mohan D., Sinha S. 2004. Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of Gomti River (India)—a case study. *Water Research* 38, 3980-3992.
- Vega M., Pardo R., Barrado E., Deb'an L. 1998. Assessment of seasonal and polluting effects on the quality of river water by exploratory data analysis. *Water Research* 32, 3581-3592.

Study of the benthic biological index and evaluation of the water quality index (IRWQI_{sc}) of the Sardabroud protected river

Sarvenaz Rezamohammadi¹, Kamran Rezaei Tavabe^{1*}, Arash Javanshir¹, Ali Moridi², Saman Javadi², Raheleh Bagheri¹

¹Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

²Faculty of Civil Engineering, Water and Environment, Shahid Abbaspour Campus, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

³Department of Water Engineering, College of Agricultural Technology, University of Tehran, Tehran, Iran.

*Corresponding author: krtavabe@ut.ac.ir

Received: 27.Nov.2023

Accepted: 15.Feb.2024

Abstract

The purpose of this study was to investigate the water quality condition of Sarabrud River using Iran surface water quality index and biological value index. To achieve this purpose, five sampling stations were selected along the Sardabrud River based on limnological principles and establishment of contaminant sources and sampling of water and benthos was done by three replications in both cold and warm seasons. 11 water quality parameters including: BOD₅, COD, Ammonium, nitrate, phosphate, turbidity, pH, faecal coliform and electrical conductivity were measured and analyzed using standard methods. Based on the results, in cold season, biological value index was lower than warm season. This index, at upstream station was 1 and 2/43 in cold and warm seasons, respectively. On the basis of saproby table, in cold season, all the stations were in oligosaprobe condition and middle was in betamesosaprobe condition. Also in warm season, downstream was in oligosaprobe and the others were in betamesosaprobe condition. IRWQI_{sc} index was decreased in both seasons and its amount in cold season was higher than warm season. This value, in cold season ranged from 58/5 to 90/7. Downstream station was in relatively good quality condition in both seasons and two upstream stations had a very good condition in cold season. Also, in warm season, IRWQI_{sc} index ranged from 55/26 to 90/38. The upstream stations of Sardabrud and Kelardasht were in very good and good condition, respectively, middle station and Najjarkola were in relatively good condition. Municipal, agricultural and domestic sewages, could lead to increase contamination and reduce the quality of water from upstream to downstream. In order to manage the quality condition of the river, compilation of a complete protection plan for Sardabrud River with the approach of maintaining the existing conditions is recommended.

Keywords: Sardabroud River, IRWQI_{sc} index, Biological value index, Saproby table